

## **АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*В данной статье проведен анализ процесса микродугового оксидирования алюминиевого сплава Д16 при работе с классическими источниками питания. Показаны особенности формирования покрытия в процессе микродугового оксидирования, представлены результаты проведенных экспериментальных работ. Указаны свойства процесса, его достоинства и недостатки.*

**Ключевые слова:** микродуговое оксидирование, алюминиевый сплав Д16, конденсаторный источник питания, микроструктура покрытия, оксид алюминия, плотность электрического тока.

Одним из основных направлений в машиностроении является повышение КПД машин при снижении их веса и массы и неизменности прочности и износостойкости. Алюминий и алюминиевые сплавы, обладая высокой прочностью и низким удельным весом, нашли достаточно широкое применение в различных сферах машиностроения. Однако низкая износостойкость, температура плавления и высокие теплопроводность и химическая активность ограничивают использование данного материала в производстве.

Для улучшения механических свойств алюминиевых сплавов целесообразно применение методов поверхностной обработки, в том числе электрохимических [1].

Микродуговое оксидирование (МДО) является одним из наиболее эффективных методов поверхностной обработки алюминиевых сплавов. Процесс МДО представляет собой возникновение микродуговых разрядов на поверхности

изделий из алюминиевых сплавов при разности потенциалов в системе «изделие-ванна» от 450 В. В результате горения разрядов на поверхности происходит локальное расплавление металла на поверхности и модификация его элементами электролита [2; 3].

Покрытие, образованное в процессе МДО, в основном состоит из высокотемпературных  $\alpha$ - и  $\gamma$ -фазы оксида алюминия (корунд), а также содержит в себе примеси различных соединений:  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  (силлиманит),  $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$  (ортоклаз). Толщина покрытия, как правило, составляет до 400 мкм, а твердость до  $2500 \text{ кг/см}^2$  [4].

Состав и свойства покрытия, получаемого при МДО, регулируется с помощью состава электролита и параметров электрического режима. Так, добавление к основному составу изопропилового спирта повышает толщину покрытия, однако при этом возрастает и пористость, а при добавлении гидроксида калия (КОН) значительно повышается микротвердость. Полный цикл процесса микродугового оксидирования проходит при следующих значениях параметров: плотность тока  $j = 10\text{--}30 \text{ А/дм}^2$ , напряжение 450–1000 В, а время оксидирования  $t = 30\text{--}240$  мин. Выбор определенных параметров зависит от химического состава алюминиевого сплава и состава электролита, формы и размеров изделия [5].

### **Методика и проведение эксперимента**

В типовых источниках питания, применяемых для МДО в промышленности, основными изменяемыми параметрами являются время оксидирования и плотность тока. Напряжение, как правило, не регулируется и составляет около 600 В.

Для определения влияния на производительность процесса и качество получаемого покрытия, был проведен ряд опытов, основным изменяемым параметром которых являлась плотность тока  $j$  [6].

Микродуговое оксидирование в данном эксперименте проводилось для трех групп образцов в виде пластин из алюминиевого сплава Д16 одинаковых

размеров. Параметры источника питания изменялись ступенчато от минимальной мощности источника питания до максимальной.

Значения параметров различных экспериментов указаны в табл. 1.

Таблица 1

Параметры режима оксидирования	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	3,3	8,1	12,6
Напряжение, В	310	360	390
Температура электролита: 34 °С			
Время процесса: 15 мин.			
Состав электролита: КОН – 4 г/л, Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> – 3 г/л, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> – г/л.			
Источник питания: конденсаторного типа.			

Макроструктура поверхности оксидированных образцов показана на рис. 1.

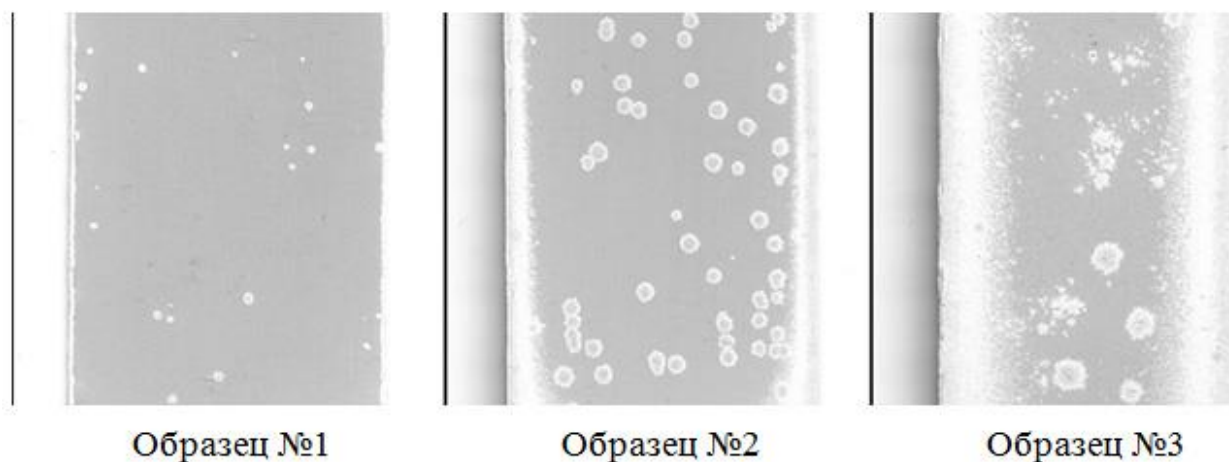


Рис. 1. Макроструктура поверхности оксидированных образцов

На рис. 1 прослеживается зависимость площади оксидированной поверхности от различных значений плотности тока (табл. 1). На первом снимке оксидный слой практически отсутствует, основные места его образования – вблизи края, где плотность тока была значительно ниже, чем вблизи центра

образца. На втором снимке площадь оксидированной поверхности больше, на поверхности образца присутствуют локальные точки образования оксидного слоя в виде белых пятен. На третьем снимке площадь оксидированной поверхности максимальна, однако имеет большую шероховатость и наличие прожогов покрытия.

Микроструктуры оксидированных покрытий показаны на рис. 2.



Рис. 2. Микроструктура поверхности оксидированных образцов. x200

На рис. 2. также прослеживается зависимость толщины покрытия от изменения плотности тока. На снимке первого образца покрытие практически отсутствует. На втором и третьем толщина покрытия изменяется пропорционально изменению значения плотности тока. На третьем снимке толщина покрытия значительно больше, чем на первых двух. Однако повышение плотности тока вызывает появление значительной пористости в полученном покрытии и наличие металлических включений.

## Выводы

1. Повышение плотности тока влияет на скорость образования оксидного покрытия. При изменении плотности тока с  $3,31 \text{ А/дм}^2$  до  $8,11 \text{ А/дм}^2$  площадь и толщина оксидного покрытия значительно возрастает. Полученное на режиме № 2 покрытие имеет низкую пористость (до 10 %) и равномерное распределение оксида на поверхности. Повышение плотности тока до  $12,6 \text{ А/дм}^2$

позволило значительно увеличить площадь покрытия и толщину, однако при этом возросло и количество дефектов в виде высокой пористости (до 30 %) и наличии металлических включений и прожогов в покрытии.

2. Высокие значения плотности тока при микродуговом оксидировании не могут применяться как метод повышения производительности процесса. Значительные значения тока на поверхности способствуют возникновению мощных дуговых разрядов, разрушающих уже образованное оксидное покрытие и нарушающих геометрию поверхности основного металла.

Статья выполнена в рамках реализации проектной части госзадания Минобрнауки РФ №11.1196.2014/К

### **Литература**

1. Krivonosova Ye. A., Gorchakov A. I., Scherbakov Yu. V. Structure and properties of coatings in microarc oxidation // Welding International. 2014. Vol. 28. № 10 (2014). P. 816–819. ISSN: 0950-7116.

2. Горчаков А. И., Кривоносова Е. А. К вопросу образования пор в покрытиях при микродуговом оксидировании // Тяжелое машиностроение. 2008. № 7. С. 26–29.

3. Кривоносова Е. А. Применение теории фракталов в металловедении сварки и покрытий // Сварка и диагностика. № 1. 2008. С. 2–5.

4. Кривоносова Е. А., Горчаков А. И., Щербаков Ю. В. Легирование через электролит при микродуговом оксидировании алюминия // Сварка и диагностика. 2013. № 4. С. 13–15.

5. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А., Горчаков А. И. Механические характеристики оксидированной поверхности при различных режимах оксидирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6–2. С. 469–472.

6. Пономарев И. С., Кривоносова Е. А., Горчаков А. И. Особенности влияния электрических режимов на процесс микродугового оксидирования //

Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2013. Т. 15. № 4. С. 99–103.